

个旧深部含锡多金属硫化矿赋存状态研究

刘益萍

(云锡集团研究设计院, 云南 个旧 661000)

摘要: 本文通过对含锡多金属硫化矿体的工艺矿物学研究, 对矿石的物质组成、锡、铜、铅、锌的赋存状态、晶体形态、结晶粒度、多元素在空间分布状态作了综合分析, 提出了影响含锡多金属硫化矿体中有价元素回收的工艺矿物学因素, 此研究结果可为选矿确定佳选矿工艺流程, 最大限度提高多金属元素回收率提供参考依据, 达到综合利用的目的。

关键词: 锡石多金属; 赋存状态; 粒度; 工艺矿物; 回收率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2013.06.012

中图分类号: TD98, P616 文献标识码: A 文章编号: 1000-6532(2013)06-0044-04

个旧是国内锡成矿带上最重要的超大型锡、铜多金属矿集区之一, 随着锡资源的逐年开采, 单一的锡资源越来越少, 锡的开采逐渐转向含锡多金属硫化矿体。锡石硫化矿类型多, 伴生有用矿物种类多, 综合利用价值高, 有较高的经济价值和学术研究价值。为了更好地对这类型矿产资源加以利用, 需对矿产资源中各种有价金属进行工艺矿物学研究, 帮助选矿确定合理工艺流程, 最大限度提高选矿回收率, 以此来提高资源的附加值, 增加企业经济效益。

1 矿石特征研究

1.1 原矿化学分析及粒度组成

原矿中锡、铜、铅、锌金属主要集中在+0.074mm级别中, 金属率累计占80%左右, 并且金属率越大, 产率也大, 由此说明四种金属的结晶粒度细小, 选矿工艺中需加强磨矿, 使有用金属矿物尽量单体解离, 进一步提高回收率。原矿多元素分析结果见表1。

表1 原矿多元素分析结果/%

Table 1 The analysis results of the multi-elements of the raw ore

Sn	Fe	Pb	Mn	Zn	As	S
0.16	19.9	1.32	0.32	2.16	0.092	12.12
Ca	Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Bi	Ag	Mg
8.48	1.12	24.82	2.15	0.065	100.9	1.17

1.2 主要矿物组成及含量

矿石由二十余种矿物所组成, 有用矿物以锡石、方铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿为主, 其中锡石占0.08%、黄铜矿占2.10%、铁闪锌矿占2.95%、方铅矿占1.05%, 金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、赤、褐铁矿、磁铁矿、毒砂等矿物, 总金属矿物占有量为28.02%, 偶见黝锡矿、铜蓝、菱锌矿、异极矿, 脉石矿物以石英、长石、辉石、方解石、白云石、萤石为主, 总矿物量为59.61%, 其次是石榴石、电气石、阳起石、云母等, 总矿物量为6.19%。属高硅含锡石多金属硫化矿床。

2 锡多金属赋存状态研究

2.1 锡赋存状态

矿样中的锡品位0.16%, 锡物相分析结果表明, 锡主要以锡石形式存在, 其分布率为92.86%, 酸溶锡分布率占7.14%, 锡石锡是供选矿回收的最大可能理论回收率。为了进一步预测锡石锡实际回收率, 确定锡石磨矿粒度特对锡石做了单体解离度测定, 经在+1-0.010mm的九个级别中分析, 锡石在0.6~0.3mm中就可见单体, 但单体解离度低; 仅占12.78%; 最佳可选级别-0.074-0.037mm级别中的单体解离度也不高仅占81.25%; 锡石单体解离情况见表2)。从表2可看出, 出露矿石表面可见锡石

收稿日期: 2013-06-19

作者简介: 刘益萍(1962-), 女, 地质高级工程师, 现从事工艺矿物学研究。

锡金属率不高仅占 29.62%, 还有 70.38% 的锡金属呈细粒、微细粒嵌布包裹在其他矿物中; 究竟包裹的锡金属是嵌布包裹在何种矿物中, 分析中特提取矿样的主量矿物石英、方解石、辉石、黄铁矿进行纯净单矿物分析, 这部分细粒锡金属不同程度都分布在主量矿物中(见表 3), 经偏反两用显微镜、扫描电镜下对多颗纯净锡石分析见(图 1); 该地区纯净锡石接近理论品位; 对产出高品位锡精矿没有影响, 但与其主量矿物共生关系密切。通过对锡赋存状态的研究, 矿样中锡金属的赋存形式主要以锡石锡的形式赋存, 由于锡石结晶粒度细; 单体解离度差, 与其他矿物共生关系密切。在选矿工艺中必须考虑加强磨矿粒度, 使锡石尽量单体解离, 最大限度地提高锡金属回收率。

表 2 锡石单体解离度

Table 2 The single separation degree of cassiterite						
项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	26.32	2.28	0.79	0.23	70.38	100.00

表 3 锡在主要矿物中的分布

Table 3 The distribution of cassiterite in the main minerals							
矿物组成	锡石	石英	方解石	辉石	黄铁矿	其他矿物	合计
分布率/%	39.47	9.87	2.73	3.66	8.20	36.07	100.00

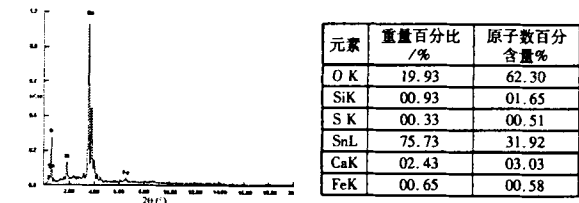


图 1 锡石 X 射线能谱分析及含量

Fig. 1 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of cassiterite

2.2 铜的赋存状态

矿样中铜品位 1.12%, 铜物相分析结果表明, 铜是以原生硫化铜、次生硫化铜、硫酸铜、自由氧化铜、结合氧化铜等多种形式赋存, 其中原生硫化铜(黄铜矿)分布率占 88.18%, 原生硫化铜是供选矿分选铜的最大可能理论回收率。因此对黄铜矿的实际回收率进行预测, 首先对多颗纯净黄铜矿作扫描电镜分析, 黄铜矿平均含铜 33% (图 2), 比较接近理论值, 对生产合格铜精矿没有影响。为确定选铜的磨矿粒度, 对黄铜矿做单体解离度测定, 在+1-0.010mm 的九个级别中分析, 黄铜矿在+1mm 级别中有单体产出, 其解离度为 30.53%, 0.010mm 级别可

达 96.11%, 并可见连生体, 最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 中的单体解离度也高, 达到 80% ~ 90%, 显微镜下可见黄铜矿(单体+结合体)占 66.79%, 还有 33.21% 的黄铜矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中(表 4)。为查找含铜 33.21% 铜金属量的分布状态, 提纯净黄铜矿、石英、方解石、辉石、黄铁矿等单矿物进行分析, 其中黄铜矿所占铜金属 66.65%, 黄铁矿所占铜金属 23%, 由此说明铜金属主要以黄铜矿形式赋存; 但还有 23.16% 的铜金属呈细粒、微细粒嵌布、包裹在黄铁矿中(表 5), 可见黄铜矿和黄铁矿共生关系相对密切。通过分析, 只有 66.79% 的铜金属呈独立矿物黄铜矿的形式赋存, 这部分铜金属是选矿中应该回收到的, 还有 23.16% 的铜金属在选矿工艺中需加强磨矿粒度, 使铜硫进一步分离来提高铜精矿的回收率。

表 4 黄铜矿单体解离情况

Table 4 The single separation of chalcopyrite						
项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	54.86	3.34	4.25	4.34	33.21	100.00

表 5 铜在主要矿物中的分布

Table 5 The distribution of copper in the main minerals							
矿物组成	黄铜矿	石英	方解石	辉石	黄铁矿	其它矿物	合计
分布率/%	66.65	0.11	0.06	0.47	23.16	9.55	100

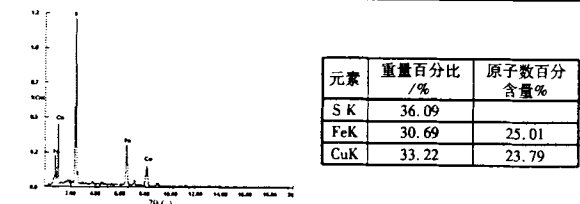


图 2 黄铜矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 2 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of chalcopyrite

2.3 铅的赋存状态

矿样中铅品位 1.32%, 铅物相分析表明, 铅主要以硫化铅(方铅矿)的形式存在, 分布率占 84.93%, 是选矿分中选铅的最大可能理论回收率, 还有占 15.07% 的氧化铅和其他形态的铅赋存。

为了进一步预测方铅矿的实际回收率, 对多颗纯净方铅矿作扫描电镜分析, 纯净方铅矿平均含铅量 86.12% (图 3), 比较接近理论值, 对生产合格铅精矿没有影响。为确定方铅矿磨矿粒度, 对方铅矿做单体解离度测定, 在+1-0.010mm 的九个级别中分析, 方铅矿在+1mm 级别中就有单体产出, 其解离

度为 20%, 到 0.010mm 级别可达 98%, 并可见连生体。最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 级别中的单体解离度较高, 达到 85% ~ 95%, 显微镜下可见铅(单体+结合体)占 63.58%, 还有 36.42% 的方铅矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中(表 6), 为了解细粒、微细粒的分布状态, 对纯净方铅矿、白铅矿、脉石、黄铁矿等进行单矿物分析, 其中方铅矿所占铅金属 59.59%, 白铅矿所含铅金属 12.31%, 在其他矿物中占铅金属占 18.48% (表 7)。由此说明铅金属主要以方铅矿、白铅矿形式赋存; 这部分出露矿石表面, 并呈独立矿物形式赋存的铅金属是选矿工艺中应该回收到的, 但还有 18.48% 的铅金属主要呈细粒、微细粒嵌布、包裹在脉石矿物一项中。因此选矿工艺中应加强磨矿, 使铅矿物与脉石矿物有效分离, 进一步提高铅金属的回收率。

表 6 方铅矿单体解离情况

Table 6 The single separation of galena

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒 包裹体	合计
单体解离/%	51.12	3.88	4.00	4.58	36.42	100.00

表 7 铅在主要矿物中的分布

Table 7 The distribution of lead in the main minerals

矿物组成	方铅矿	白铅矿	脉石	黄铁矿	其他矿物	合计
分布率/%	59.59	12.31	3.19	6.43	18.48	100.00

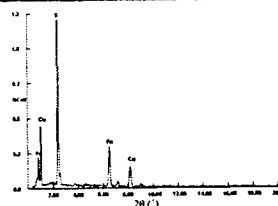


图 3 方铅矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 3 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of galena

2.4 锌的赋存状态

矿样中锌品位 2.16%, 通过化学物相分析, 可以看出锌主要是以硫化锌的形式赋存, 分布率占 77.51%, 还有 18.99% 的锌金属是以氧化锌和硅酸锌的形式分布, 这些锌金属是供选矿分选的最大理论回收率。经显微镜下分析硫化锌主要以铁闪锌矿的形式赋存。

为了进一步预测铁闪锌矿的实际回收率, 对该矿体多颗纯净铁闪锌矿作扫描电镜分析, 纯净铁闪锌矿平均含锌量 55% (图 4), 与理论值不接近, 因为锌与铁发生类质同象, 对生产合格锌精矿有一定影响。为确定铁闪锌矿磨矿粒度特对铁闪锌矿做了单体解离度测定, 经在 +1-0.010mm 的九个级别中

分析, 铁闪锌矿在 +1mm 级别中就有单体产出, 其单体解离度为 24%, 0.010mm 级别可达 99%, 并可见连生体。最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 级别中的单体解离度也高, 达到 86% ~ 95%, 显微镜下可见锌(单体+结合体)占 60.92%, 还有 39.08% 的铁闪锌矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中(表 8), 为查清含锌金属的分布状态, 对纯净矿物铁闪锌矿、菱锌矿、黄铁矿、脉石的作单矿物分析, 其中铁闪锌矿所含锌金属 61.17%, 菱锌矿所含锌金属 3.59%, 在脉石矿物所含锌金属 0.40%, 黄铁矿含锌 1.00%。由此说明锌金属主要以铁闪锌矿形式赋存; 是选矿工艺中应该回收到的锌金属, 但还有 33.84% 的锌金属呈细粒、微细粒嵌布、包裹在脉石矿物 8, 选矿中应加强磨矿粒度, 使与脉石、其他矿物密切共生的这部分锌金属单体解离, 最大限度来提高锌金属的回收率。

表 8 铁闪锌矿单体解离情况

Table 8 The single separation of marmatite

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒 包裹体	合计
单体解离/%	50.82	4.37	2.95	2.78	39.08	100.00

表 9 锌在主要矿物中的分布

Table 9 The distribution of zinc in the main minerals

矿物组成	铁闪 锌矿	菱锌矿	脉石 矿物	黄铁矿	其他 矿物	合计
分布率/%	61.17	3.59	0.40	1.00	33.84	100.00

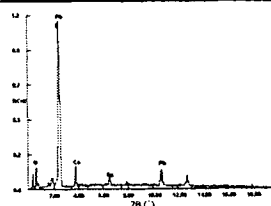


图 3 闪锌矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 3 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of marmatite

3 结 语

通过分析含锡多金属硫化矿是以锡为主, 综合利用多种金属的有价值矿体, 但其矿体有价元素赋存状态复杂, 经过分析, 提出影响多元素回收的矿物学因素包括: 嵌布粒度粗细不均, 单体解离度不是很理想(特别是锡石锡)并与矿样中的其他矿物共生关系密切; 但在选矿工艺中只需根据矿石所特有的性质, 合理选择适合该矿体的选别流程, 有价元素的选矿回收率是会得到进一步提高。

(下转 53 页)

参考文献:

- [1] 许时. 矿石可选性研究(第2版)[M]. 北京:冶金工业出版社, 2006. 34-112.
- [2] 冯守本. 选矿厂设计[M]. 北京:冶金工业出版社, 1996.
- [3] 刘曙, 祁超英. 程潮铁矿选矿厂尾矿再选生产实践[J]. 国外金属矿选矿, 1998; 35-36.
- [4] 选矿设计手册编委会. 选矿厂设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 2004. 30-40.
- [5] 董丽芳. 浅谈金属矿山选矿尾矿及废水处理[J]. 云南冶金, 2001, 30(2): 61-62.
- [6] 孙时元, 邱显扬, 周岳远. 中国选矿设备手册[M]. 北京:科学出版社, 2006.

Research on Recycling and Mineral Processing for Taihe Vanadium Titanium Magnetite Tailings

HU Wei-ming, HE Gang, ZHANG Hong-bo

(Xichang Mining Co., Ltd. of Chongqing Iron and Steel Co., Ltd., Xichang, Sichuan, China)

Abstract: A large number of vanadium-titanium magnetite tailings are stockpiled in Xipiao tailings dam of Tianhe mine, among which the content of iron and titanium is relatively high, having the value of recycling and utilization. After artificial station sampling and analyzing its properties, iron and titanium minerals were recycled by adopting the flowsheet of one roughing and one scavenging wet magnetic separation, which can obtain the high-iron rough concentrate with the iron grade of 38.96% and the total iron recovery of 37.11% and the high-titanium scavenging rough concentrate with the titanium grade of 11.09% and the recovery of 46.65%. The rough concentrate obtained could be combined with the process of the production of titanium and iron, which can reduce the cost of investment and production and give some reference to the comprehensive utilization of vanadium-titanium magnetite tailings in Panxi area.

Key words: Vanadium titanium magnetite tailings; Recycling and utilization; Low-intensity magnetic separation; High-intensity magnetic separation.

(上接 46 页)

参考文献:

- [1] 冶金工业部西南冶金地质勘探公司. 个旧锡矿地质[M]. 北京:冶金工业出版社, 1981.
- [2] 周乐关. 工艺矿物学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2007.
- [3] 李胜荣. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社, 2008.
- [4] 中国科学院贵阳化学研究所. 矿物 X 射线粉晶鉴定手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 1978.
- [5] 任迎新, 朱宝华. 重砂矿物分选及鉴定[M]. 北京:中国地质大学出版社, 1980.
- [6] 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1982 年.
- [7] 湖南省地质局实验室、区测队. 重砂矿物化学鉴定法[M]. 北京:地质出版社, 1972.
- [8] 李德惠. 晶体光学[M]. 北京:地质出版社, 1980.
- [9] 徐国风. 矿相学教程[M]. 湖北:武汉地质学院出版社, 1980.
- [10] 潘兆橹. 结晶学及矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1982.
- [11] 中国地质科学院地矿所. 砂矿物鉴定手册[M]. 北京:地质出版社, 1977.
- [12] 曾广策, 朱云海, 叶德隆. 晶体光学及光性矿物学[M]. 北京:中国地质大学出版社, 2006.

Research on the Occurrence of a Polymetallic Sulphide Ore Containing Tin in Gejiu

LIU Yi-ping

(Research and Design Institute of Yunnan Tin Group, Gejiu, Yunnan, China)

Abstract: Through the study on processing mineralogy for a polymetallic sulphide ore containing tin, such factors as the ore material composition, the occurrence of tin, copper, lead and zinc, the crystal morphology, the crystal size and the spatial distribution of multi-elements were analyzed. The processing mineralogy factors which have effect on the recovery of the valuable elements in the polymetallic sulphide ore containing tin were proposed. The research results can provide the optimal mineral processing flowsheet and reference base for the improvement of the recovery of the polymetallic ore, reaching the aim of comprehensive utilization.

Key words: Cassiterite; Tin-polymetallic ore; Occurrence; Grain size; Processing mineralogy; Recovery rate